



УДК 69.05
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-16-23

Научная статья



Моделирование деятельности строительной организации на основе искусственного интеллекта

К. М. Крюков ✉, **А. Газал**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ kkrioukov@gmail.com

Аннотация

Введение. В производственно-хозяйственной деятельности строительных организаций значительные усилия затрачиваются на оптимизацию строительных процессов. Проблемы, связанные с несвоевременной поставкой материально-технических и трудовых ресурсов, приводят к непроизводственным затратам и потерям для строительной организации. Для управления деятельностью строительной организации используются организационно-технологические модели, которые позволяют планировать строительные процессы с увязкой использования материально-технических, финансовых и трудовых ресурсов. Однако огромный объем предоставляемой информации не позволяет качественно и своевременно реагировать на изменяющиеся условия. Целью исследования является изучение возможности использования технологии искусственного интеллекта в процессе моделирования деятельности строительной организации.

Материалы и методы. В исследовании использовались методы сравнительного анализа и синтеза информации в сфере моделирования строительных процессов. Были проанализированы основные проблемы, возникающие в процессе управления организационно-технологическими моделями, и последствия от неэффективного управления строительством.

Результаты исследования. В результате проведенных исследований было предложено передать разработку оптимальных организационно-технологических моделей с прогнозированием всех видов ресурсов по количеству и срокам поставки искусственным интеллектуальным системам. Наиболее предпочтительным методом представляется использование интеграции технологии цифровых двойников и искусственного интеллекта. Данный подход позволяет вносить изменения в физическую модель строительного производства через виртуальное пространство модели цифрового двойника. Визуализация элементов организационно-технологической модели строительства, работа в режиме реального времени с расчетом различных сценариев позволит значительно повысить эффективность функционирования строительной организации.

Обсуждение и заключение. Предложенный подход к совершенствованию организационно-технологического моделирования на основе агрегирования технологии цифровых двойников с машинной обработкой данных можно считать лишь первым этапом внедрения искусственного интеллекта в строительной отрасли, который начинает процесс цифровой трансформации строительства.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, организационно-технологическое моделирование, цифровые двойники, материальные ресурсы.

Для цитирования. Крюков, К. М. Моделирование деятельности строительной организации на основе искусственного интеллекта / К. М. Крюков, А. Газал // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 3. — С. 16–23. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-16-23

Original article

Modeling of the Construction Company Activities Based on Artificial Intelligence Technology

Konstantin M. Kryukov ✉, **Ahmad Gazal**

Don State Technical University, Gagarin sq. 1, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ kkrioukov@gmail.com

Abstract

Introduction. Among the construction companies production and business activities the significant efforts are allocated to the construction processes optimisation. Problems related to the untimely supply of material and labor resources cause a construction company the non-production costs and losses. In order to manage the activities of a construction company the organisational and technological models are used to plan construction processes in correlation with the use of material, financial and labor resources. However, the huge amount of provided information prevents from qualitative and timely feedback to the changing conditions. The aim of the study is to investigate the possibility of artificial intelligence technology application to the process of modeling the construction company activities.

Materials and methods. The methods of comparative analysis and synthesis of the information referring to the construction processes modeling were used. The main problems arising in the process of organisational and technological models management and the consequences of inefficient construction management were analysed.

Results. As a result of the research, it was proposed to transfer the development of optimal organisational and technological models capable of forecasting the quantity and delivery time of all types of resources to the artificial-intelligence systems. Mostly preferred method seems to be the integration of digital twin technology and artificial intelligence. This approach allows changing the physical model of construction production via virtual space of the digital twin model. Visualization of the organisational and technological construction model elements as well as work in real time, having various scenarios calculated, will significantly increase the efficiency of a construction company.

Discussion and Conclusions. The proposed approach on improvement of the organisational and technological modeling based on the aggregation of digital twin technology with machine data processing can be considered just the first step in implementation of artificial intelligence in the construction industry, giving start to digital transformation of construction.

Keywords: intelligent systems, organisational and technological modeling, digital twins, material resources.

For citation. Kryukov K. M., Gazal A. Modeling of the Construction Company Activities Based on Artificial Intelligence Technology. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 3, pp. 16–23. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-16-23

Введение. Деятельность строительных организаций нацелена на достижение основных ключевых показателей, к которым можно отнести продолжительность строительства объекта и сроки выполнения работ, стоимость строительства, качество выполняемых работ. Для достижения данных показателей разрабатываются модели организационно-технологических решений по выполнению строительно-монтажных работ, которые направлены в основном на обеспечение соответствия привлекаемых ресурсов строительной организации требованиям, диктуемым выполняемыми работами [1]. Основой организационно-технологического моделирования является разработка календарных планов на строительство отдельного объекта или комплекса объектов, входящих в стройку. Также необходимым элементом календарного планирования является составление расписания на производственную программу строительно-монтажной организации.

В целях эффективного управления строительством объекта при инженерно-технологической подготовке должен быть разработан календарный план производства работ или календарный план строительства, которые

формируются на основе организационно-технологической модели всех процессов реализации инвестиционно-строительного проекта. При разработке расписания выполняемых процессов особое внимание уделяется факторам технологии работ [2]. Организационно-технологические документы, разрабатываемые в составе проекта организации строительства или проекта производства работ, учитывают различную степень группировки составляемого плана. Независимо от степени детализации календарный план строительства должен учитывать материально-технические, финансовые и трудовые возможности строительно-монтажной организации, передовые методы организации и технологии выполняемых работ, соответствовать срокам строительства, установленным договором. Таким образом обрабатываемая информация для качественной разработки организационно-технологической модели строительства объекта и управления этой моделью представляет огромный массив данных. Кроме того, любой календарный план имеет ресурсные и технологические ограничения, которые должны учитываться при определении как сроков выполнения конкретных работ, так и сроков строительства объекта в целом. Для эффективного управления строительством обработать поступающую информацию с учетом временных ограничений и своевременно реагировать на изменяющиеся условия в период производства строительных работ без использования машинного интеллекта не представляется возможным. Целью исследования является изучение возможности использования технологии искусственного интеллекта в процессе моделирования деятельности строительной организации.

Календарное планирование, как часть системы организационно-технологического проектирования позволяет решить множество задач управления строительным производством, в том числе [3]:

– поставка строительных материалов в необходимые сроки;

– выбор потребных строительных машин и механизмов, обуславливающих производство работ в заданные сроки;

– определение организационно-технологической последовательности как отдельных работ, так и комплекса объектов;

– оптимизация сроков производства работ с учетом интенсивности их выполнения или изменения организации и технологии;

– управление строительством объекта или комплекса объектов при изменениях в процессе производства работ и отклонениях от запроектированного календарного плана.

Для того, чтобы оценить разработанный календарный план, который решает множество задач, необходимо оценить все вышеперечисленные критерии решения организационно-технологических задач. Следовательно, кроме сложности оптимизации календарного планирования, имеется проблема оценки смоделированного календарного плана, связанная с учетом множества критериев и их взаимосвязью и взаимодополнением.

На основании вышеизложенного можно судить, что только календарное планирование, как часть строительного производства, формирует огромное количество переменных, влияющих на эффективность деятельности строительной организации. Соответственно, возникает необходимость в интеллектуальной системе управления, которая сможет принимать эффективные решения на всех стадиях развития инвестиционно-строительного проекта с учетом нечетких параметров всех вышеперечисленных факторов.

Фактически сегодня человек выполняет эту работу. Однако в условиях огромного количества переменных факторов качественная обработка информации и принятие эффективных управленческих решений становится практически невозможным. Исполнитель не всегда может квалифицированно обрабатывать данные и разрешать возникающие проблемы. В реальности с запроектированным календарным планом работает линейный персонал строительной организации, на который возложено множество задач, связанных с управлением рабочими и субподрядными организациями. У него фактически не хватает времени оперативно отслеживать ход производства

работ и корректировать заявки на всевозможные виды ресурсов. Все это приводит к недостаточно эффективной работе с документацией, отчетами о ходе работ, корректировке календарного плана, заявками на необходимые материально-технические ресурсы и т.п. Передача функционала по решению таких задач по заранее определенному алгоритму машинной обработке может повысить эффективность их решения [4]. Естественно, должен быть применен комплексный подход: агрегирование алгоритмов машинного обучения с организационно-технологической моделью на основе строительных физических процессов.

При разработанной организационно-технологической модели строительства все процессы подчиняются стандартам. На современной стадии развития информационных технологий разработку оптимальных организационно-технологических моделей с прогнозированием всех видов ресурсов по количеству и срокам поставки можно передать интеллектуальным системам

Материалы и методы. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) активно развиваются в различных отраслях. Решения ИИ, которые оказали влияние в других отраслях, начинают появляться в строительной отрасли. Цифровая трансформация строительной отрасли является одной из важнейших задач, стоящих перед экономикой России, и потенциал ее огромен.

Исследования Стэндфордского Университета (США) показали, что инвестиции в ИИ в 2021 году составили около 93,5 млрд. долларов США, что более чем вдвое превышает общий объем инвестиций в 2020 году. Наилучшие результаты в технических тестах все чаще зависят от использования дополнительных обучающих данных для установления новых передовых результатов. По состоянию на 2021 год 9 современных систем искусственного интеллекта из 10 тестов в этом отчете обучаются с использованием дополнительных данных [5]. Эта тенденция косвенно благоприятствует субъектам частного сектора, имеющим доступ к обширным наборам данных.

В рамках федерального проекта «Искусственный интеллект» национального проекта «Цифровая экономика» осуществляется государственная поддержка развития искусственного интеллекта в РФ [6].

Четкого общепринятого определения «искусственный интеллект» пока не зафиксировано, что приводит к недопониманию и каждым субъектом воспринимается по-своему.

В большинстве случаев под искусственным интеллектом специалисты понимают «машинное обучение – класс методов для решения задач на основании прецедентов и для поиска закономерностей по историческим данным производственных систем» [7].

Однако строительные организации в большинстве не имеют достаточных данных для поиска закономерностей. Это связано с недостаточным уровнем цифровизации как конкретных строительных организаций, так и всей отрасли в целом. Например, корректный расчет объемов выполняемых работ и необходимых для этого ресурсов (трудовых, материальных, финансовых и др.) возможен при использовании проектов, выполненных на основе технологии информационного моделирования зданий. Соответственно, одной из проблем для внедрения машинной обработки данных для решения задач организационно-технологического планирования является недостаточная база исходных данных. В целях пополнения такой базы данных рекомендуется использовать результаты реально принятых организационно-технологических решений при календарном планировании. При недостаточности информации можно применить вариантную проработку с использованием виртуальных данных организационно-технологического моделирования выполняемых инвестиционно-строительных процессов [7]. При этом разработанные варианты виртуальной модели должны соответствовать реальным условиям строительства. Только корректно наполненная достаточная база данных позволит добиться качественного прогноза для принятия эффективных решений.

Задачу агрегирования организационно-технологического моделирования на основе реальных строительных процессов и компьютерную обработку данных с последующим интеллектуальным обучением можно решить через создание цифровых двойников. Цифровой двойник – это комплексная динамическая модель, которая в реальном времени и с высокой точностью воспроизводит состояние и параметры работы строительного процесса при существующих условиях [8].

В связи с низкой степенью цифровизации строительных организаций представляется первым шагом создание цифрового двойника не организации в целом, а отдельного направления ее деятельности, связанного с организационно-технологическим моделированием строительства (рис. 1).



Рис. 1. Основные этапы создания цифрового двойника организационно-технологической модели строительства (рисунок авторов)

Цифровой двойник позволяет смоделировать систему календарного планирования, как части организационно-технологического моделирования строительных процессов, в целях поддержки принятия управленческих решений с выработкой рекомендаций на основе алгоритмов машинного обучения с учетом как фактических, так и смоделированных виртуальных данных [9].

Одной из проблем несвоевременной сдачи объектов в эксплуатацию является некачественная разработка календарных планов производства работ на строительство объектов. По причине некорректных или недостаточных исходных данных календарный план проектируется без необходимой детализации отдельных видов работ [10]. Применение технологии информационного моделирования зданий позволяет получить детальный объем исходной информации по всем строительным работам. Но обработать такой объем информации человек не в состоянии. Объем информации по количеству и технологической последовательности производства работ на отдельный объект или комплекс объектов на различных этапах инвестиционно-строительного проекта не позволяет корректно спрогнозировать все будущие характеристики объекта строительства [11].

Цифровой двойник позволяет планировать строительно-монтажные работы с различной степенью детализации и агрегирования, а также:

– сокращать сроки строительства и избегать задержек, связанных с непоставкой материально-технических и трудовых ресурсов;

– прогнозировать сроки строительства;

– использовать сценарии «что если» в целях повышения эффективности принятия решений при изменениях в ходе проекта;

– анализировать оперативные данные о ходе строительства в режиме онлайн для оптимизации задач организационно-технологического планирования;

– проверять решения, принимаемые в календарном планировании, при изменении в строительных проектах путем тестирования в безрисковой виртуальной среде;

– применять элементы «бережливого строительства» в целях ликвидации непроизводственных потерь времени.

Результаты исследования. Разработку цифрового двойника целесообразно начинать с одного проекта и в случае успешности распространить на другие проекты. В качестве подходов к организационно-технологическому моделированию целесообразно использовать системно-динамический и дискретно-событийный подходы. В модель должны быть загружены данные как из проекта, так и фактические данные возведения объекта [12]. Модель должна позволять совмещать различные уровни агрегации и детализации, а также объединять физические данные и прогнозные данные, заданные статистическим распределением. Следовательно, инженерно-технические работники будут иметь возможность формировать организационно-технологические модели на различных уровнях агрегации с переходом от более высокой степени агрегации к более детальной. Например, безрисковая цифровая среда позволяет протестировать различные входные данные (связанные со сроками поставки материальных ресурсов и т. п.), добавив в модель данные о сроках, количестве и запустив различные сценарии «что, если». Результаты смогут отразить как сроки и стоимость выполнения отдельных работ, так и изменение продолжительности и хода строительства объекта в целом. Модели могут быть представлены в 3D, а результаты календарного моделирования для возможности планирования и работы с ними в виде специальных отчётов календарных планов различной степени детализации.

Имитационная модель оптимизации строительства объекта в качестве пробного проекта позволяет вносить изменения в процессы или стратегию и сроки строительства объекта. Модель подсказывает, как можно сократить срок строительства, используя в качестве исходных данных информацию BIM-модели здания, и в соответствии с ними формировать календарный план, агрегируя работы по необходимым для принятия решения уровням (рис. 2).

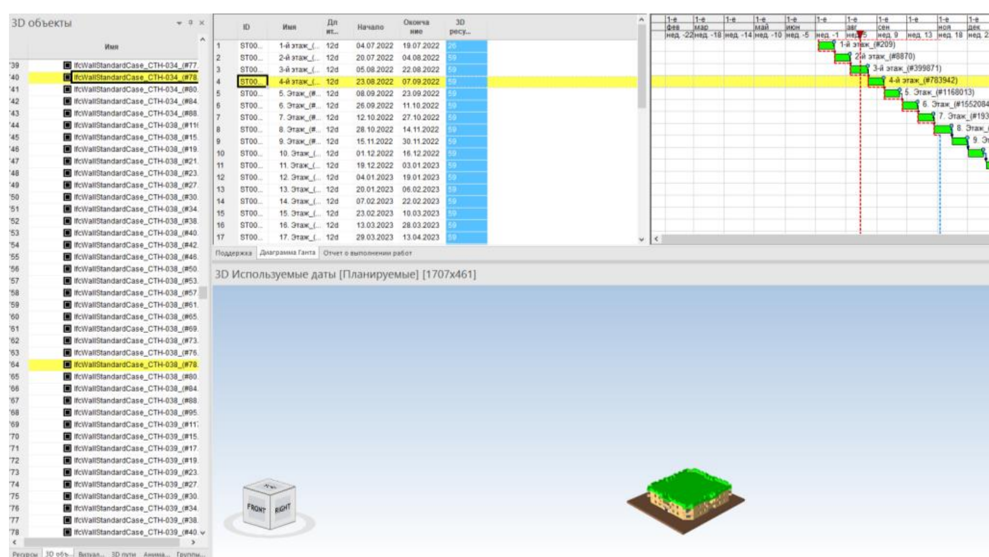


Рис. 2. Пример использования данных BIM-модели для целей календарного планирования (рисунок авторов)

Обсуждения и заключения. Создание модели цифрового двойника для исследования и прогнозирования данных — это лишь первый шаг использования технологии искусственного интеллекта для планирования и управления строительством. Реализация данного подхода к внедрению ИИ уже на первом этапе позволит решить следующие оперативные задачи:

– поддержка развития организационно-технологических процессов строительства объектов;

– моделирование различных ситуаций в единой информационной среде;

– возможность оперативного реагирования при отклонении от плановых показателей;

– увеличение времени для более качественной управленческой работы линейного персонала путем снижения неквалифицированной работы;

– возможность качественной обработки входной информации при увеличении ее объема, возможность использования различных уровней детализации и агрегирования.

Использование модели цифрового двойника, как элемента технологии искусственного интеллекта, позволит повысить эффективность календарного планирования, организационно-технологического прогнозирования строительных процессов и качества принятия управленческих решений, в том числе, оптимизацию планирования поставок материально-технических ресурсов и финансовых решений.

Библиографический список

1. Голотина, Ю. И. Факторы, влияющие на сроки строительства / Ю. И. Голотина, А. А. Рыжкова, М. С. Арутунян // Научные труды КубГТУ. — 2018. — № 9. — URL:https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0058/2310.pdf

2. Давыдова, К. А. Факторы, влияющие на сроки строительства / К. А. Давыдова // Труды Всеросс. науч.-практ. конф. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. — С. 34–36. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35445189

3. Курочка, П. Н. Разработка моделей и механизмов организационно-технологического проектирования строительного производства / П. Н. Курочка // Диссертация доктора технических наук: 05.23.08 (Воронеж). — 2004. — С. 353.

4. Крюков, К. М. Использование технологии цифровых двойников в строительстве / К. М. Крюков // Инженерный вестник Дона. — 2022. — № 5 (89). — С. 517–525.

5. Clark, J. Artificial Intelligence / J. Clark, R. Perrault // Index Report. Institute for Human-Centered AI Stanford University — 2022 — P. 229.

6. Федеральный проект: «Искусственный интеллект» / Национальные проекты России. [сайт] — URL: https://национальныепроекты.рф/projects/tsifrovaya-ekonomika/p-iskusstvennyy-intellekt-p (дата обращения: 11.11.2022).

7. Колчин, В. Н. Специфика применения технологии «искусственного интеллекта» в строительстве / В. Н. Колчин // Инновации и инвестиции. — 2022. — № 3. — С. 250–253.

8. Wadlow, T. Feature: How Artificial Intelligence Supports the Construction Industry / T. Wadlow — 2018. URL: https://www.constructionglobal.com/equipment-and-it/feature-how-artificial-intelligence-supportsconstruction-industry

9. Лысенко, Д. А. Метод автоматизированной адаптации цифрового двойника объекта строительства / Д. А. Лысенко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2020. — № 4 (34). — С. 139–141. URL: http://aracy.рф/journal/isvp/4-34-2020/table-of-contents-4

10. Алексеева, Т. Р. BIM-технологии и искусственный интеллект в инфраструктурном строительстве / Т. Р. Алексеева // БСТ: Бюллетень строительной техники. — 2022. — № 1 (1049). — С. 52–54.

11. Викторов, М. Цифровые двойники. Основные аспекты внедрения и применения технологий информационного моделирования (ТИМ) в строительстве / М. Викторов // Русский инженер. — 2021. — № 3 (72). — С. 15–16. URL: https://promweekly.ru/archive/ri/2021/RI_3_2021.pdf

12. Козлов, П. О. Цифровые двойники в строительстве на фоне развития технологий BIM / П. О. Козлов // Мат-лы 61-й студ. науч.-техн. конф. инженерно-строительного института Тихоокеанского государственного университета (ТОГУ). — г. Хабаровск, 2021. — С. 275–279.

Поступила в редакцию 20.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Крюков Константин Михайлович — заведующий кафедрой «Инжиниринговое управление в строительстве» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат экономических наук, доцент, ORCID, ScopusID, kkrioukov@gmail.com

Газал Ахмед М. Х. — аспирант кафедры «Организация строительства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ahmad.07.cr7@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

К. М. Крюков — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, доработка текста, формирование выводов. А. Газал — исследование по теме работы, проведение расчетов, подготовка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.